

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA
REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA

Ente Acque della Sardegna

PROGETTO DEFINITIVO ESECUTIVO
Ripristino dello scarico di fondo
della Diga di Monte Pranu
in comune di Tratalias

Cod: RLT02

Rev: 4

Data: marzo 2019

RELAZIONE IDRAULICA

Progettazione

Ing. Giovanni Turi

Coordinamento della Sicurezza

Ing. Giovanni Turi

Rilievi

Geom. Alessandro Sulas



Resp.Unico del Procedimento

Ing. Stefania Todde

Direttore del Servizio

Ing. Antonio Loche

Direttore Generale

Ing. Franco Ollargiu

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag.	2
1.1 SCOPO E CONTENUTO	pag.	2
1.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	pag.	2
1.2.1 Normativa tecnica	pag.	2
1.2.2 Documentazione tecnica	pag.	2
2. CALCOLI IDRAULICI	pag.	3
2.1 CONFIGURAZIONE DELLE OPERE	pag.	3
2.2 SCALE DI DEFLUSSO	pag.	3
2.2.1 Generalità	pag.	3
2.2.2 Determinazione del coefficiente globale di deflusso	pag.	4
2.2.3 Determinazione del carico totale a valle	pag.	5
2.2.4 Scale di deflusso risultanti	pag.	6
2.3 SVUOTAMENTO DELL'INVASO	pag.	6

ALLEGATI

- ALL. A – ESTRATTO DA “DESIGN OF SMALL DAMS” – USBR (rif. 1.2.3.1)
ALL. B – ESTRATTO DA “MANUEL D'HYDRAULIQUE GÉNÉRALE” – LENCASTRE (rif. 1.2.3.2)
ALL. C – ESTRATTO DA “HYDRAULIC DESIGN CRITERIA” – USACE (rif. 1.2.3.12)

1. INTRODUZIONE

1.1 SCOPO E CONTENUTO

La presente relazione riporta i calcoli idraulici del progetto definitivo-esecutivo per la sistemazione ed il ripristino dello scarico di fondo della diga di Monte Pranu in comune di Tratalias.

La trattazione dei singoli argomenti è preceduta da una parte generale contenente:

- elenco dei documenti di riferimento (normativa, documenti di progetto, bibliografia tecnica);
- sintetica descrizione delle opere;
- dati ed ipotesi di base.

1.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

1.2.1 Normativa tecnica

Il progetto è stato eseguito in conformità della seguente normativa tecnica:

- 1.2.1.1 D.M. 26.6.2014 - Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)

1.2.2 Documentazione tecnica

Documentazione di archivio (progetti ed atti di collaudo)

- 1.2.2.1 Progetto delle apparecchiature idrauliche (Riva Calzoni) – Paratoia
- 1.2.2.2 Atti di collaudo – Opere di chiusura ed accessori per lo scarico di fondo
- 1.2.2.3 Foglio di condizioni per l'esercizio e la manutenzione

Progetto definitivo-esecutivo

- 1.2.2.4 DWG02 – Planimetria del cantiere
- 1.2.2.5 DWF01 - Stato di fatto – Tav.1
- 1.2.2.6 DWF02 - Stato di fatto – Tav.2
- 1.2.2.7 DWF03 - Stato di fatto – Tav.3
- 1.2.2.8 DWC01 - Carpenteria metallica – Condotta di scarico – Tav.1
- 1.2.2.9 DWC02 - Carpenteria metallica – Condotta di scarico – Tav.2
- 1.2.2.10 DWP02 - Paratoia e bypass – Sezioni e dettagli

1.2.3 Bibliografia tecnica

La bibliografia tecnica consultata è:

- 1.2.3.1 U.S. Department of Interior – Bureau of Reclamation USBR – Design of Small Dams – 1987
- 1.2.3.2 A.Lencastre – Manuel d'hydraulique générale – Eyrolles -1986
- 1.2.3.3 American Water Works Association AWWA – Steel Water Pipe – A Guide for Design and Installation - 2004
- 1.2.3.4 I.E.Idelcick – Memento des pertes de charge – Eyrolles - 1960
- 1.2.3.5 U.S. Department of Interior – Bureau of Reclamation USBR – Engineering Monograph no.7 – Friction Factors for Large Conduits Flowing Full – 1992
- 1.2.3.6 L.Levin – Formulaire des conduites forcées, oléoducs et conduits d'aération – Dunod - 1968
- 1.2.3.7 Japanese Technical standard for gates and penstocks – Hydraulic Gate and Penstock Association - 1986
- 1.2.3.8 U.S. Army Corps of Engineers USACE – Hydrologic Engineering Center - HEC-RAS 4.1 – Hydraulic Reference Manual – 2010
- 1.2.3.9 Ven Te Chow - Open channel hydraulics - Mc Graw Hill - 1959
- 1.2.3.10 U.S. Department of Interior – U.S. Geological Survey USGS – Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains – WSP2339 - 1989
- 1.2.3.11 U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration FHWA – Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains - TS-84-204 – 1984
- 1.2.3.12 U.S. Army Corps of Engineers USACE – Hydraulic Design Criteria – 1977

2. CALCOLI IDRAULICI

2.1 CONFIGURAZIONE DELLE OPERE

L'intervento di progetto consiste essenzialmente nella sostituzione degli organi di intercettazione (paratoia e saracinesca), nella ricostituzione della condotta di scarico e nell'abbassamento della briglia-guado posta a circa 200 m a valle dello sbocco del dissipatore, e da cui quest'ultimo viene rigurgitato.

Al termine dell'intervento la configurazione dello scarico di fondo differirà in minima parte dall' attuale:

- la paratoia di monte avrà diametro (luce netta) di 1310 mm anziché di 1500 mm;
- il raccordo tra paratoia e tubazione sarà realizzato con un divergente 1310/1350 (diametri interni);
- la tubazione avrà diametro interno 1350 mm anziché 1400 mm;
- immediatamente a monte della nuova saracinesca DN1400 sarà realizzato un raccordo divergente 1350/1400.
- immediatamente a valle della nuova saracinesca DN1400 sarà realizzato un divergente 1400/1600, per il raccordo con il nuovo gomito DN1600 (anziché DN1400).

Le figg. 2.1 e 2.2 illustrano schematicamente le due configurazioni.

I paragrafi seguenti riportano i calcoli effettuati al fine di confrontare il comportamento idraulico dello scarico di fondo ante e post operam.

2.2 SCALE DI DEFLUSSO

2.2.1 Generalità

La relazione tra la portata Q defluente nel sistema e la generica quota idrica z_m nell'invaso (che costituisce la quota di carico totale di monte), per il regime in pressione è espressa da:

$$Q = A_o \sqrt{\frac{2g(z_m - z_{tv})}{m}}$$

con:

A_o = area della sezione di riferimento =

1,54 (m²)

z_{tv} = quota di carico totale di valle (allo sbocco del dissipatore)

m = coefficiente globale di deflusso

adottando come sezione di riferimento quella della condotta DN1400, per ragioni di comodità (l'assunzione è arbitraria e non modifica i risultati della trattazione, v. rif. 1.2.3.1 e nota (1)).

A sua volta la quota di carico totale di valle dipende dalle condizioni di deflusso nel tronco di alveo successivo.

La procedura adottata è pertanto la seguente:

- partendo dalla condizione al contorno costituita dal moto critico sulla soglia del guado di valle sono stati calcolati i profili di moto permanente per diversi valori di portata, ricavando così la quota di carico totale z_{tv} sulla soglia all'uscita del dissipatore (v. par. 2.2.3);
- a ciascun valore di portata è stato quindi possibile associare il corrispondente valore di carico totale a monte z_{tm} (cioè il livello d'invaso):

$$z_{tm} = z_{tv} + \frac{m Q^2}{2g A_o^2}$$
- il valore di portata massima è stato infine ricavato per interpolazione sulla curva imponendo come quota di carico totale a monte il valore z_{tmmax} , quota di massima regolazione (pari a 43,50 m s.m.).

(1) Il coefficiente globale di deflusso è definito come:

$$m_i = \sum k_i \left(\frac{A_o}{A_i} \right)^2 = A_o^2 \sum \frac{k_i}{A_i^2}$$

con k_i coefficiente di perdita di carico in corrispondenza di ciascuna sezione e di ciascun tronco di area A_i .

Sostituendo m nell'espressione di Q si ha:

$$Q = A_o \sqrt{\frac{2g(z_m - z_{tv})}{m}} = A_o \sqrt{\frac{2g(z_m - z_{tv})}{A_o^2 \sum \frac{k_i}{A_i^2}}} = \frac{A_o}{\sqrt{\sum \frac{k_i}{A_i^2}}} \sqrt{2g(z_m - z_{tv})} = \sqrt{\frac{2g(z_m - z_{tv})}{\sum \frac{k_i}{A_i^2}}}$$

Pertanto Q è indipendente da A_o .

La procedura è illustrata nella fig. 2.4.

2.2.2 Determinazione del coefficiente globale di deflusso

2.2.2.1 Metodo di calcolo

Esplicitando le diverse perdite di carico (distribuite e concentrate) vengono adottate le seguenti espressioni:

$$\Delta H_{dk} = \text{perdite di carico distribuite} = L_k \frac{n^2 v_k^2}{R_k^{4/3}}$$

$$\Delta H_{cj} = \text{perdite di carico concentrate} = k_j \frac{v_j^2}{2g}$$

il coefficiente globale di deflusso risulta:

$$m = \sum_k \left[\frac{2g n^2 L_k}{R_k^{4/3}} \left(\frac{A_o}{A_k} \right)^2 \right] + \sum_j \left[k_j \left(\frac{A_o}{A_j} \right)^2 \right]$$

dove:

- L_k = lunghezza del tronco k
- R_k = raggio idraulico del tronco k
- A_k = area del tronco k
- k_j = coefficiente di perdita di carico alla sezione j
- A_j = area della sezione j

Per le perdite di carico si adottano i coefficienti di seguito indicati, dedotti attraverso un esame ragionato della copiosa letteratura tecnica disponibile sull'argomento (v. rif. 1.2.3.1, 1.2.3.2, 1.2.3.3, 1.2.3.4, 1.2.3.5, 1.2.3.6, 1.2.3.7 e 1.2.3.12). In particolare

- n = coefficiente di scabrezza di Manning (1) = 0,0125 ($m^{-1/3} s$)
- k_e = coefficiente di perdita alla paratoia (2) = 0,5 (-)
- k_c = coefficiente di perdita nei convergenti (3) = 0,1 (-)
- k_d = coefficiente di perdita nei divergenti (4) = 0,5 (-)
- angolo divergenza $0,5^\circ$ (1,31/1,35 in 2,18m) e $0,7^\circ$ (1,35/1,40 in 2m) = 0,02 (-)
- angolo divergenza 15° (1,40/1,60 in 0,35 m) = 0,27 (-)
- k_b = coefficiente di perdita in curva (5) = 0,31 (-)
- k_s = coefficiente di perdita alla saracinesca (6) = 0,15 (-)
- k_v = coefficiente di perdita allo sbocco (Coriolis) = 1,1 (-)
- k_t = coefficiente di perdita alla griglia (v. rif. 1.2.3.1) =
- $= 1,45 - 0,45 \frac{A_{tn}}{A_{tg}} - \left(\frac{A_{tn}}{A_{tg}} \right)^2 = 1,45 - 0,45 \times 0,6 - 0,6^2 =$ 0,82 (-)

con:

- A_{tg} = area lorda della griglia = 6,00 (m^2)
- $\frac{A_{tn}}{A_{tg}}$ = rapporto area netta/area lorda della griglia = 0,6 (-)

2.2.2.2 Risultati

Le tabb. 2.1 e 2.2, riferite rispettivamente alla configurazione ante operam ed a quella post operam - riportano i parametri geometrici ed i coefficienti di perdita di carico per il calcolo del ramo in pressione della scala di deflusso.

Le analoghe tabb. 2.3-2.5 riportano parametri geometrici e coefficienti di perdita di carico per la configurazione post operam per diversi gradi di apertura della saracinesca.

- (1) Si osservi che viene adottato lo stesso valore del coefficiente di scabrezza per la configurazione ante operam e quella post operam; in questo modo il confronto viene istituito tra la condizione del progetto originario con una condotta non ammalorata e quella risultante dall'intervento in esame.
- (2) tratto dal rif. 1.2.3.1 per la condizione di imbocco a spigoli vivi ("*square cornered entrances*"), v. All. A
- (3) tratto dal rif. 1.2.3.1, v. All. A
- (4) tratto dal rif. 1.2.3.1 tenendo conto dell'angolo di divergenza v. All. A
- (5) tratto dal rif. 1.2.3.2 tenendo conto dell'angolo della curva e della suddivisione in spicchi, v. All. B
- (6) tratto dal rif. 1.2.3.12 sia per la saracinesca completamente aperta sia per la saracinesca parzializzata (75%, 50%, 25%), v. All. C

2.2.3 Determinazione del carico totale a valle

2.2.3.1 Metodo di calcolo

Per la determinazione della quota di carico totale a valle viene effettuato il calcolo del profilo di moto permanente, sia nella configurazione attuale (in presenza della briglia-guado 200 m a valle dello sbocco del dissipatore), sia in quella a seguito dell'intervento (con l'abbassamento della soglia).

Per la determinazione del profilo idraulico si utilizza il noto codice di calcolo HEC-RAS (RAS: acronimo per River Analysis System), sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Per i fondamenti del metodo ed i dettagli d'impiego si rimanda al manuale del rif. 1.2.3.8; in questa sede si accenna semplicemente alle ipotesi fondamentali.

La procedura di calcolo adottata dal codice è basata sulla soluzione dell'equazione monodimensionale della quantità di moto. Le perdite di carico distribuite vengono determinate mediante la relazione di Chézy nella formulazione di Manning (ipotesi di moto localmente uniforme).

Il corso d'acqua viene schematizzato con una successione di tratti di lunghezza variabile individuati alle estremità da sezioni di geometria nota, scelte in modo da descrivere adeguatamente il tratto considerato.

2.2.3.2 Dati ed ipotesi di base

La geometria del sistema è quella risultante dai rilievi topografici effettuati per il presente progetto.

I valori della scabrezza d'alveo vengono assunti in base alle osservazioni condotte durante i sopralluoghi; il metodo di valutazione a cui si fa ricorso è quello di Cowan (v. rif. 1.2.3.9), adottato dall'U.S. Geological Survey (v. rif. 1.2.3.10) e dalla Federal Highway Administration dell'U.S. Department of Transportation (v. rif. 1.2.3.11).

Secondo tale metodo il coefficiente di scabrezza di Manning (n) si ottiene dalla combinazione di valori numerici attribuiti da apposite tabelle alle seguenti caratteristiche:

- tipo di superficie (k_m);
- grado di irregolarità (k_i);
- variazione delle sezioni (k_s);
- effetto delle ostruzioni (k_o);
- vegetazione (k_v);
- tortuosità dell'alveo (k_t);

secondo l'espressione:

$$n = (k_m + k_i + k_s + k_o + k_v) k_t$$

Nel rif. 1.2.3.9 è altresì pubblicata una documentazione fotografica che agevola le comparazioni con i casi sotto esame.

Per l'alveo in oggetto si adottano i seguenti valori numerici.

Parametro	Punteggio	Descrizione
k_m	0,025	valore base per "firm soil"
k_i	0,000	"smooth": sponde regolari
k_s	0,000	"gradual": variazioni graduali delle sezioni
k_o	0,000	"negligible": ostruzioni trascurabili
k_v	0,010	"low": vegetazione assente nell'alveo inciso e scarsa in golena
k_t	1,000	"minor": scarso grado di meandrazione

per cui si assume in definitiva:

$$n = \text{coefficiente di scabrezza (Manning) di progetto} = 0,035 \text{ (m}^{-1/3}\text{s)}$$

La condizione al contorno per la determinazione dei profili è costituita dall'altezza critica alla sezione della soglia del guado di valle.

2.2.3.3 Risultati

Le tabb. 2.6 e 2.7 riportano i profili di moto permanente ricavati come sopra descritto.

Dal loro esame si può notare che, in conseguenza della riprofilatura del fondo alveo prevista in progetto (consentita dall'abbassamento della soglia del guado), le condizioni di deflusso in alveo risultano migliorate (a parità di portata le quote d'acqua sono significativamente più basse di quelle ante operam).

Il confronto per le due portate massime (22,73 m³/s per la configurazione ante operam e 22,80 m³/s per quella post operam) è riportato in forma grafica in fig. 2.3.

La tab. 2.8 riassume - per diverse portate e per entrambe le configurazioni - le quote del pelo libero e del carico totale all'uscita del dissipatore.

2.2.4 Scale di deflusso risultanti

La fig. 2.5 rappresenta le scale di deflusso dello scarico di fondo, della presa e dell'insieme di scarico di fondo e presa.

Per lo scarico di fondo, alle scale di deflusso calcolate per le due configurazioni ante e post operam è affiancata quella allegata al Foglio condizioni (rif. 1.2.2.3), da cui risulta un discreto accordo con quella calcolata in questa sede per la configurazione ante operam.

Per la presa viene riportata la scala di deflusso allegata al Foglio condizioni (rif. 1.2.2.3).

Con livello d'invaso alla quota di massima regolazione (43,50 m s.m.):

- la massima portata dello scarico di fondo risulta pari a 22,73 e 22,80 m³/s rispettivamente per la configurazione ante operam e per quella post operam;
- la massima portata totale (scarico di fondo e presa) risulta pari a 33,57 e 33,64 m³/s rispettivamente per la configurazione ante operam e per quella post operam;

La curva di deflusso post operam è – sia pure leggermente – migliorativa rispetto a quella ante operam.

Sono state infine determinate le scale di deflusso per i gradi di apertura della saracinesca 75%, 50% e 25%, riportate nella fig. 2.6 insieme a quella a saracinesca completamente aperta.

Tali scale di deflusso – valide dalla quota di massimo invaso (46,50 m s.m.) sino alla quota di carico totale in corrispondenza della luce d'imbocco (qualche cm sopra il cervello di quest'ultima, 18,00 m s.m.) sono altresì riportate in forma tabellare nella tab. 2.11.

La tab. 2.12 riporta i coefficienti delle curve interpolatrici (ricavate mediante analisi di regressione dei valori puntuali calcolati), che consentono la determinazione delle portate per qualsiasi quota d'invaso compresa tra i limiti di validità.

2.3 SVUOTAMENTO DELL'INVASO

Lo svuotamento dell'invaso viene determinato attraverso l'equazione di continuità:

$$Q = dV/dt$$

espressa in termini di differenze finite:

$$t_{i+1} - t_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{(Q_{i+1} + Q_i)/2}$$

dove:

t = tempo

Q = portata

V = volume d'invaso

e gli indici i e i+1 sono riferiti rispettivamente all'inizio ed alla fine dell'intervallo di tempo di calcolo.

La relazione tra la portata Q (m³/s) e la quota d'invaso z_m (m s.m.) è quella ricavata come descritto al paragrafo precedente. Essa viene considerata fino ad una quota d'invaso di 18,00 m s.m., corrispondente al cervello dell'imbocco della griglia, al di sotto della quale il regime non è più in pressione; a questa quota il volume d'invaso è dell'ordine dei % di quello totale.

La relazione tra V e z_m (curva quote-volumi) è rappresentata in fig. 2.7.

La fig. 2.8 illustra lo svuotamento in termini di volumi e quote d'invaso. Il calcolo è riportato in forma tabellare nelle tabb. 2.9 e 2.10 rispettivamente per la configurazione ante operam e per quella post operam.

In ragione del (leggero) miglioramento della curva di deflusso i tempi di svuotamento sono leggermente inferiori per la configurazione post operam rispetto a quella ante operam.

FIG. 2.1 – CONFIGURAZIONE ANTE OPERAM – SCHEMA IDRAULICO

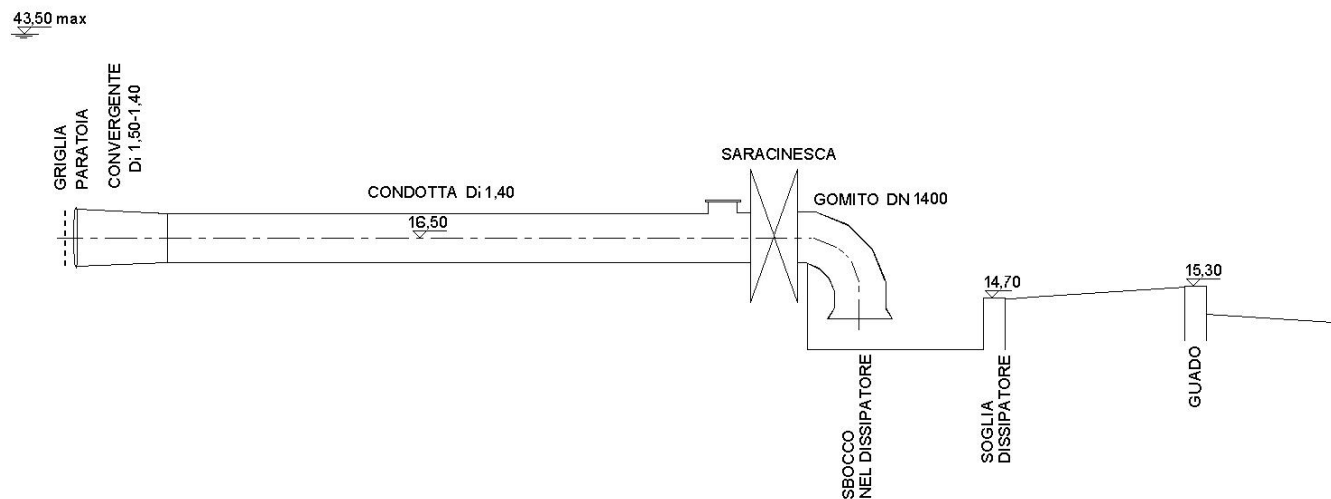


FIG. 2.2 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM – SCHEMA IDRAULICO

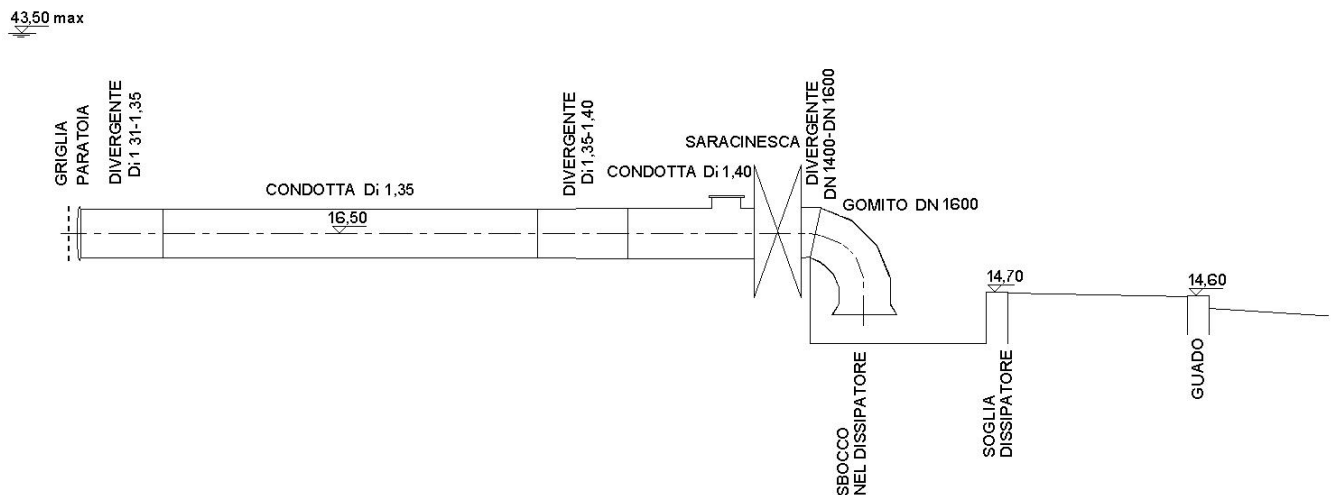


FIG. 2.3 – PROFILI DI MOTO PERMANENTE IN ALVEO – CONFRONTO ANTE-POST OPERAM

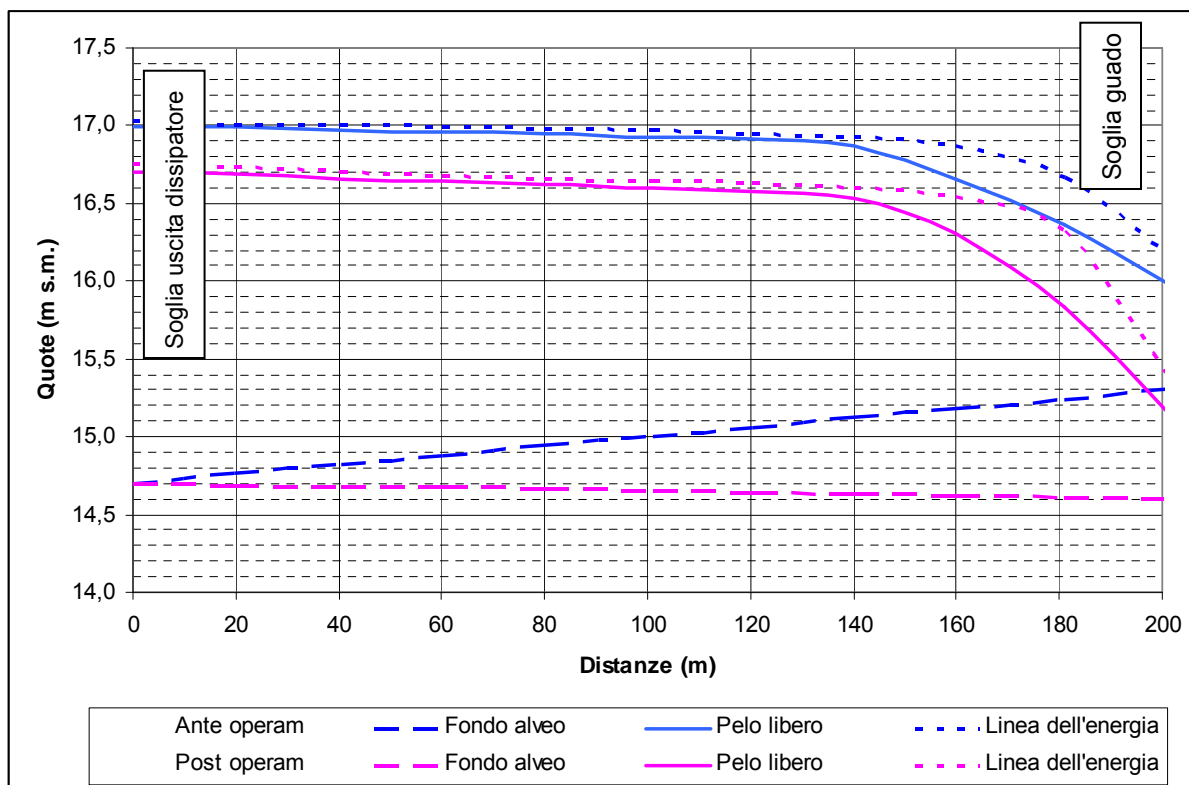


FIG. 2.4 – SCALE DI DEFLUSSO DELLO SCARICO

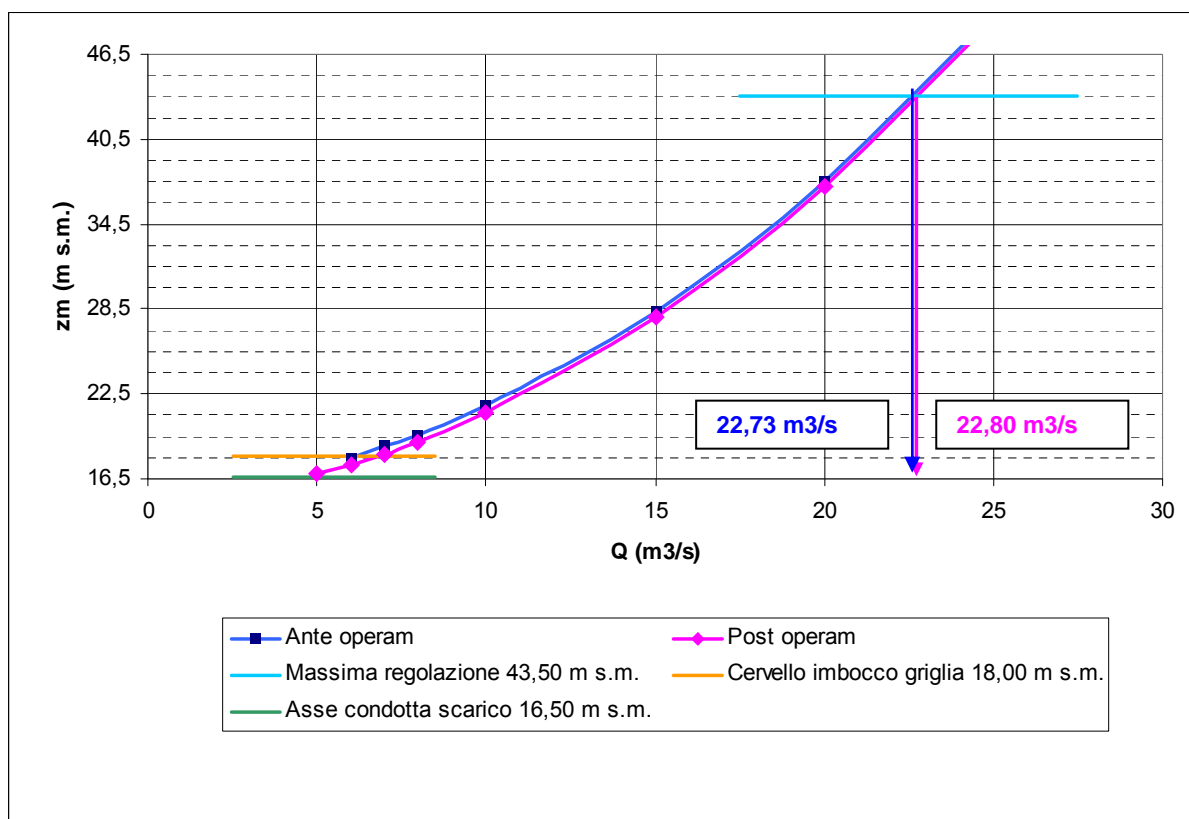


FIG. 2.5 – SCALE DI DEFLUSSO RISULTANTI (SCARICO E PRESA)

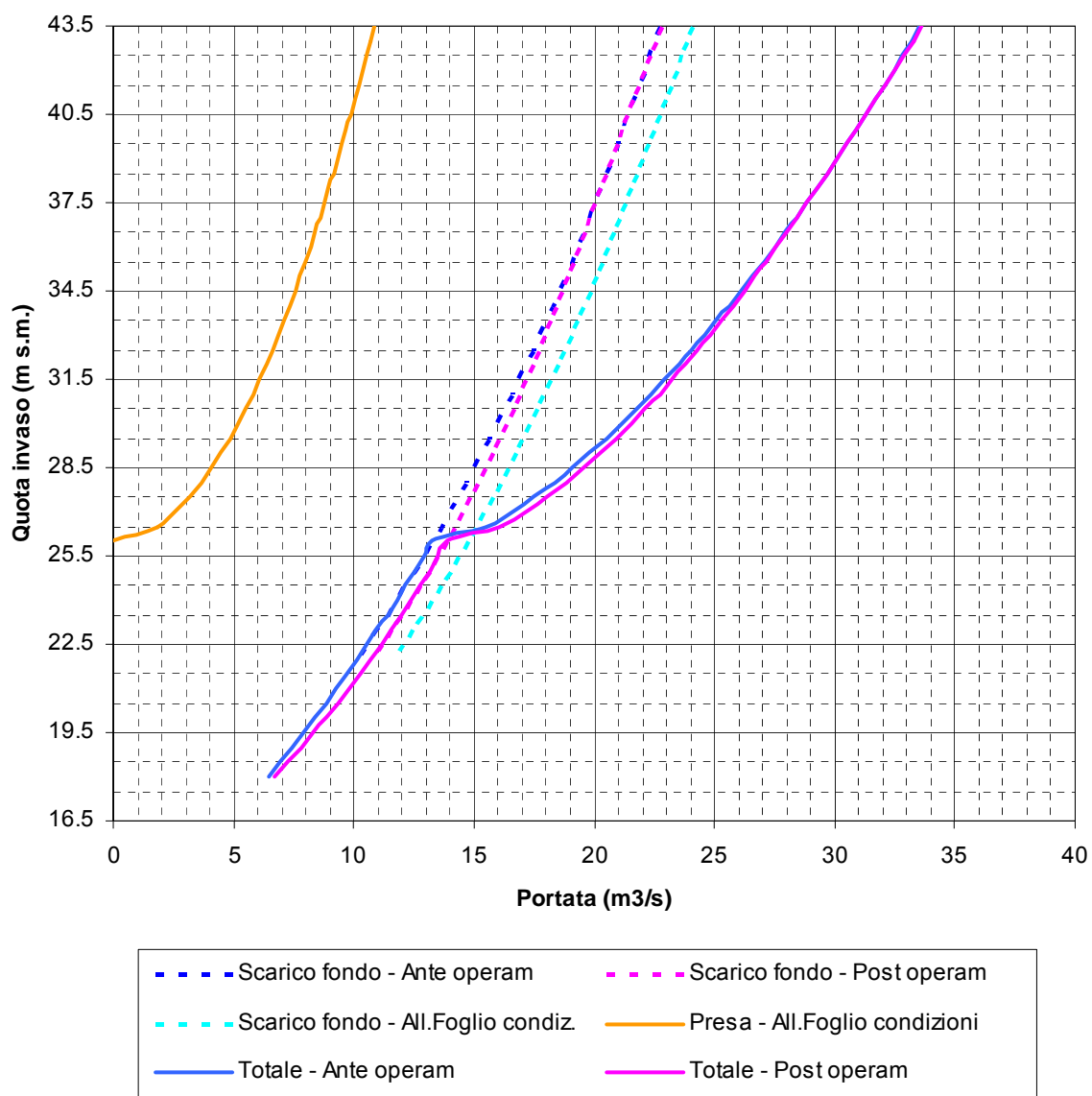


FIG. 2.6 – SCALE DI DEFLUSSO DELLO SCARICO A SARACINESCA PARZIALIZZATA

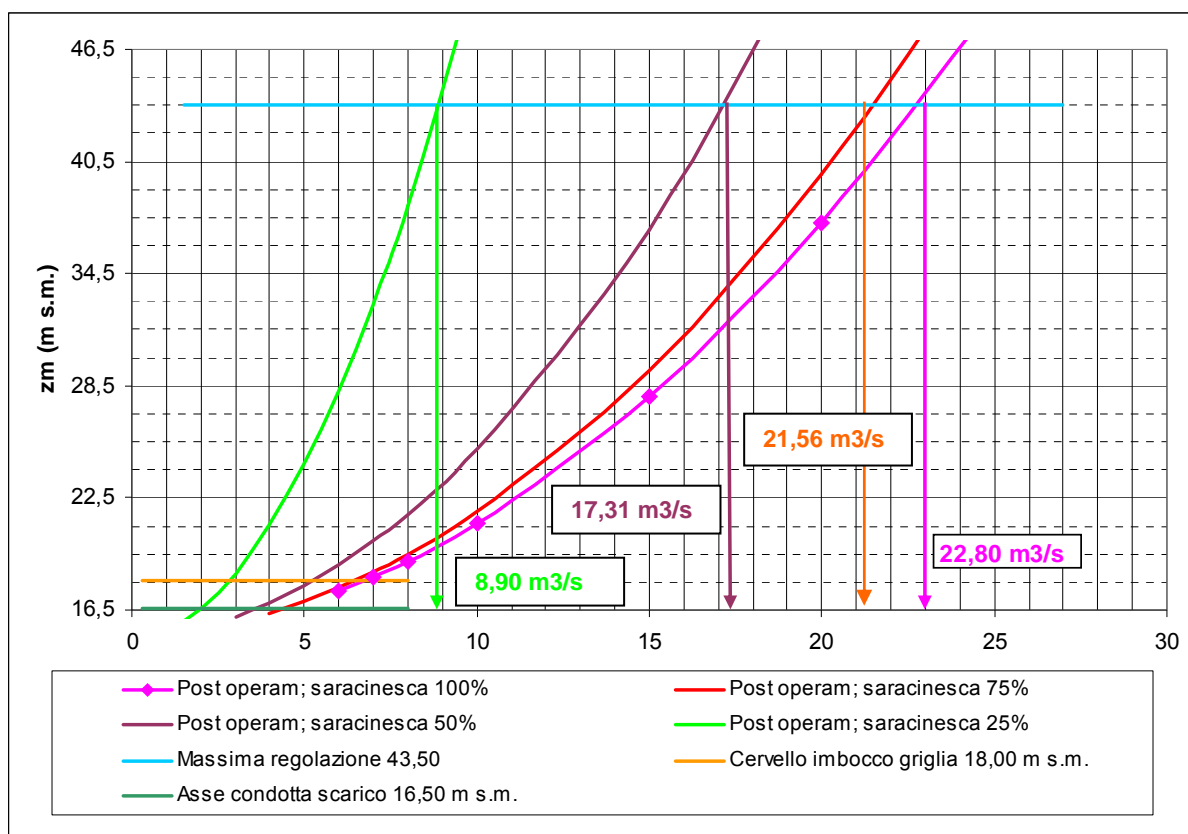


FIG. 2.7 – CURVA QUOTE-VOLUMI D'INVASO

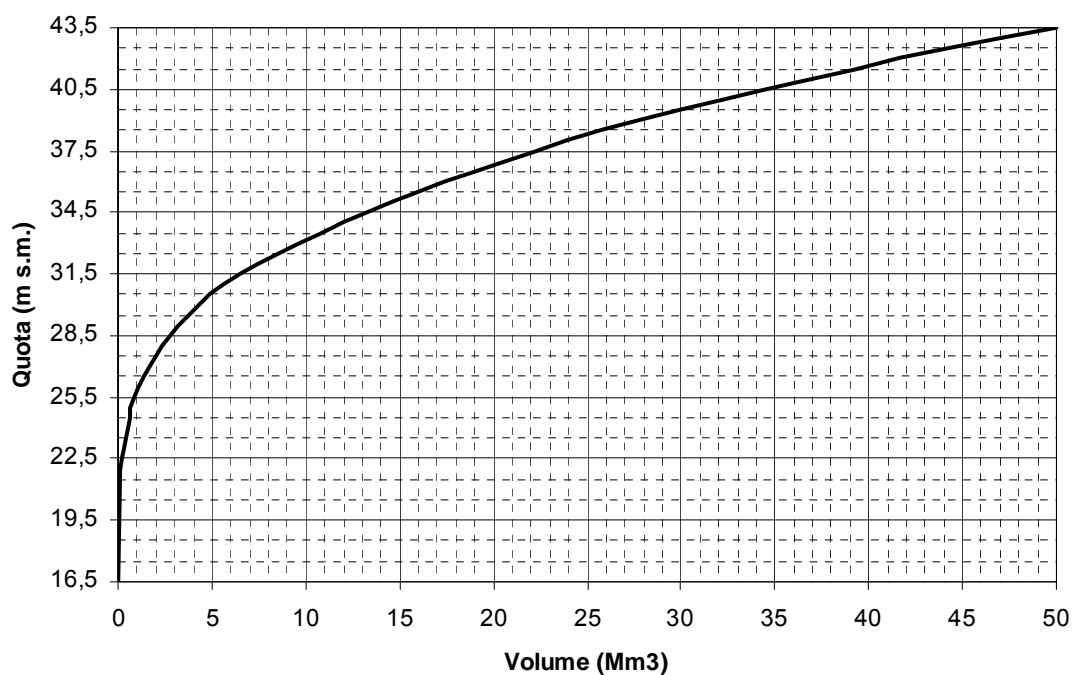
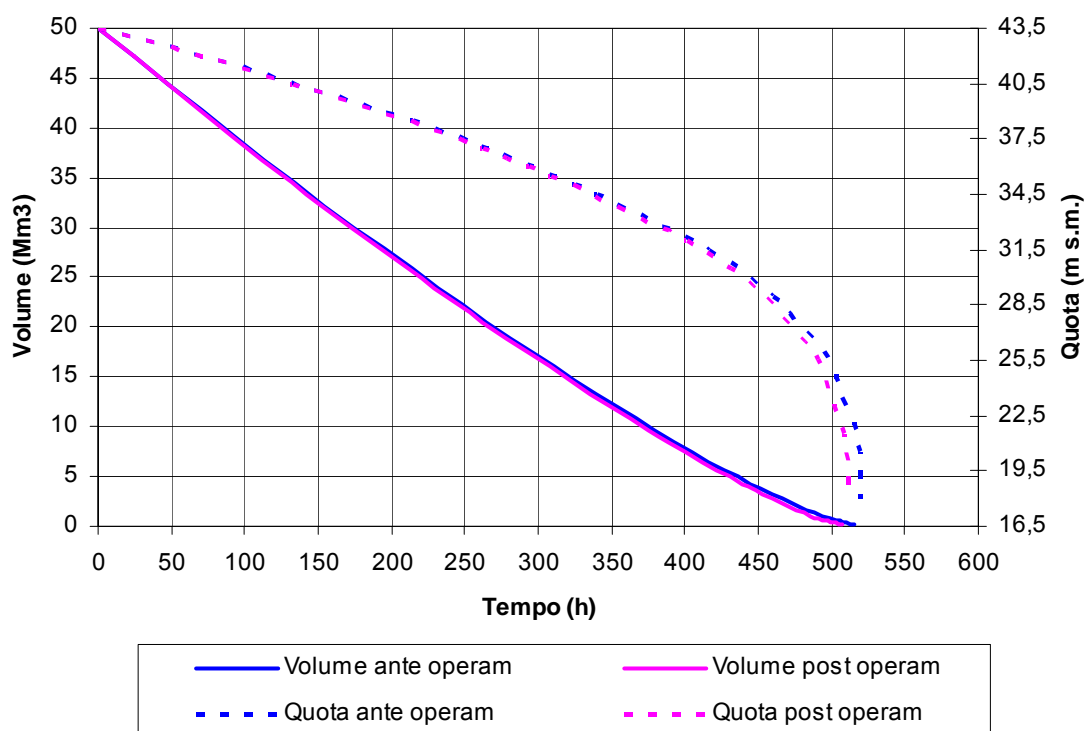


FIG. 2.8 – SVUOTAMENTO DELL'INVASO



TAB. 2.1 – CONFIGURAZIONE ANTE OPERAM - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE GLOBALE DI DEFLUSSO

	D_i (m)	A_i (m ²)	$(A_o/A_i)^2$ (-)	L_i (m)	R_i (m)	k_i (-)	$k_i (A_o/A_i)^2$ (-)
Griglia		6,00	0,07	-	-	0,82	0,05
Imbocco (paratoia)	1,50	1,77	0,76	-	-	0,50	0,38
Convergente 1,50-1,40	1,50	1,77	0,76	-	-	0,10	0,08
Condotta	1,40	1,54	1,00	26,7	0,35	0,33	0,33
Saracinesca 100%	1,40	1,54	1,00			0,15	0,15
Gomito 1,40	1,40	1,54	1,00			0,31	0,31
Sbocco nel dissipatore	1,40	1,54	1,00	-	-	1,10	1,10
m				26,7			2,40

LEGENDA

D_i = diametro
 A_i = area
 A_o = area di riferimento
 L_i = lunghezza del tronco
 R_i = raggio idraulico
 k_i = coefficiente di perdita di carico

TAB. 2.2 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE GLOBALE DI DEFLUSSO

	D_i (m)	A_i (m ²)	$(A_o/A_i)^2$ (-)	L_i (m)	R_i (m)	k_i (-)	$k_i (A_o/A_i)^2$ (-)
Griglia		6,00	0,07	-	-	0,82	0,05
Imbocco (paratoia)	1,31	1,35	1,31	-	-	0,50	0,65
Divergente 1,31-1,35	1,31	1,35	1,31	-	-	0,02	0,03
Condotta 1,35	1,35	1,43	1,16	22,0	0,338	0,29	0,33
Divergente 1,35-1,40	1,35	1,43	1,16			0,02	0,02
Condotta 1,40	1,40	1,54	1,00	4,7	0,35	0,06	0,06
Saracinesca 100%	1,40	1,54	1,00	-	-	0,15	0,15
Divergente 1,40-1,60	1,40	1,54	1,00	-	-	0,27	0,27
Gomito 1,60	1,60	2,01	0,59	-	-	0,31	0,18
Sbocco nel dissipatore	1,60	2,01	0,59	-	-	1,10	0,65
m				26,7			2,39

LEGENDA

D_i = diametro
 A_i = area
 A_o = area di riferimento
 L_i = lunghezza del tronco
 R_i = raggio idraulico
 k_i = coefficiente di perdita di carico

TAB. 2.3 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM – APERTURA SARACINESCA 75% - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE GLOBALE DI DEFLUSSO

	D_i (m)	A_i (m ²)	$(A_o/A_i)^2$ (-)	L_i (m)	R_i (m)	k_i (-)	$k_i (A_o/A_i)^2$ (-)
Griglia		6,00	0,07	-	-	0,82	0,05
Imbocco (paratoia)	1,31	1,35	1,31	-	-	0,50	0,65
Divergente 1,31-1,35	1,31	1,35	1,31	-	-	0,02	0,03
Condotta 1,35	1,35	1,43	1,16	22,0	0,338	0,29	0,33
Divergente 1,35-1,40	1,35	1,43	1,16			0,02	0,02
Condotta 1,40	1,40	1,54	1,00	4,7	0,35	0,06	0,06
Saracinesca 75%	1,40	1,54	1,00			0,45	0,45
Divergente 1,40-1,60	1,40	1,54	1,00			0,27	0,27
Gomito 1,60	1,60	2,01	0,59			0,31	0,18
Sbocco nel dissipatore	1,60	2,01	0,59	-	-	1,10	0,65
m		-	-	26,7	-	-	2,69

TAB. 2.4 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM – APERTURA SARACINESCA 50% - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE GLOBALE DI DEFLUSSO

	D_i (m)	A_i (m ²)	$(A_o/A_i)^2$ (-)	L_i (m)	R_i (m)	k_i (-)	$k_i (A_o/A_i)^2$ (-)
Griglia		6,00	0,07	-	-	0,82	0,05
Imbocco (paratoia)	1,31	1,35	1,31	-	-	0,50	0,65
Divergente 1,31-1,35	1,31	1,35	1,31	-	-	0,02	0,03
Condotta 1,35	1,35	1,43	1,16	22,0	0,3375	0,29	0,33
Divergente 1,35-1,40	1,35	1,43	1,16			0,02	0,02
Condotta 1,40	1,40	1,54	1,00	4,7	0,35	0,06	0,06
Saracinesca 50%	1,40	1,54	1,00			2,00	2,00
Divergente 1,40-1,60	1,40	1,54	1,00			0,27	0,27
Gomito 1,60	1,60	2,01	0,59			0,31	0,18
Sbocco nel dissipatore	1,60	2,01	0,59	-	-	1,10	0,65
m		-	-	26,7	-	-	4,24

TAB. 2.5 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM – APERTURA SARACINESCA 25% - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE GLOBALE DI DEFLUSSO

	D_i (m)	A_i (m ²)	$(A_o/A_i)^2$ (-)	L_i (m)	R_i (m)	k_i (-)	$k_i (A_o/A_i)^2$ (-)
Griglia		6,00	0,07	-	-	0,82	0,05
Imbocco (paratoia)	1,31	1,35	1,31	-	-	0,50	0,65
Divergente 1,31-1,35	1,31	1,35	1,31	-	-	0,02	0,03
Condotta 1,35	1,35	1,43	1,16	22,0	0,3375	0,29	0,33
Divergente 1,35-1,40	1,35	1,43	1,16			0,02	0,02
Condotta 1,40	1,40	1,54	1,00	4,7	0,35	0,06	0,06
Saracinesca 25%	1,40	1,54	1,00			14,00	14,01
Divergente 1,40-1,60	1,40	1,54	1,00			0,27	0,27
Gomito 1,60	1,60	2,01	0,59			0,31	0,18
Sbocco nel dissipatore	1,60	2,01	0,59	-	-	1,10	0,65
m		-	-	26,7	-	-	16,26

TAB. 2.6 – CONFIGURAZIONE ANTE OPERAM – PROFILI DI MOTO PERMANENTE NELL'ALVEO

Progr.	Z _f (m)	Q=22,73 m ³ /s (1)			Q=20 m ³ /s			Q=15 m ³ /s			Q=10 m ³ /s			Q=6 m ³ /s		
		Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)
0,00	14,70	16,99	17,02	0,81	16,89	16,92	0,77	16,69	16,72	0,69	16,43	16,45	0,57	16,16	16,17	0,41
19,70	14,76	16,98	17,00	0,63	16,89	16,91	0,60	16,69	16,70	0,56	16,42	16,44	0,52	16,16	16,17	0,42
40,58	14,82	16,97	16,99	0,72	16,87	16,90	0,68	16,67	16,69	0,61	16,41	16,43	0,52	16,15	16,16	0,41
60,28	14,88	16,96	16,98	0,69	16,86	16,89	0,66	16,67	16,68	0,60	16,40	16,42	0,54	16,14	16,15	0,45
79,98	14,94	16,94	16,97	0,76	16,85	16,88	0,72	16,65	16,67	0,63	16,40	16,41	0,53	16,14	16,15	0,42
100,86	15,00	16,93	16,96	0,80	16,84	16,87	0,76	16,64	16,66	0,67	16,39	16,40	0,56	16,13	16,14	0,45
120,56	15,06	16,92	16,94	0,75	16,83	16,85	0,72	16,63	16,65	0,67	16,37	16,39	0,63	16,12	16,13	0,53
140,26	15,12	16,86	16,92	1,07	16,78	16,83	1,02	16,59	16,63	0,91	16,34	16,37	0,78	16,10	16,12	0,61
159,96	15,18	16,65	16,86	2,01	16,59	16,77	1,87	16,44	16,58	1,65	16,23	16,33	1,42	16,03	16,09	1,12
180,84	15,24	16,35	16,66	2,46	16,28	16,59	2,46	16,10	16,41	2,46	16,01	16,19	1,90	15,90	16,00	1,40
200,54	15,30	15,98	16,17	1,91	15,95	16,12	1,85	15,87	16,03	1,76	15,77	15,91	1,64	15,68	15,79	1,44

TAB. 2.7 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM – PROFILI DI MOTO PERMANENTE NELL'ALVEO

Progr.	Z _f (m)	Q=22,80 m ³ /s (1)			Q=20 m ³ /s			Q=15 m ³ /s			Q=10 m ³ /s			Q=6 m ³ /s		
		Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)	Z _w (msm)	Z _t (msm)	V (m/s)
0,00	14,70	16,72	16,78	1,07	16,56	16,61	1,04	16,28	16,33	0,95	15,94	15,97	0,81	15,61	15,63	0,66
19,70	14,69	16,71	16,75	0,85	16,54	16,58	0,87	16,26	16,30	0,91	15,92	15,95	0,81	15,59	15,61	0,67
40,58	14,68	16,68	16,72	0,91	16,52	16,56	0,89	16,24	16,28	0,87	15,90	15,94	0,81	15,57	15,60	0,67
60,28	14,67	16,66	16,70	0,88	16,49	16,53	0,88	16,21	16,25	0,90	15,88	15,92	0,82	15,56	15,58	0,68
79,98	14,66	16,64	16,69	0,90	16,48	16,51	0,86	16,20	16,23	0,82	15,86	15,90	0,79	15,54	15,56	0,68
100,86	14,65	16,62	16,67	0,93	16,46	16,50	0,89	16,17	16,21	0,85	15,84	15,87	0,81	15,52	15,55	0,69
120,56	14,64	16,60	16,65	0,92	16,43	16,48	0,93	16,14	16,19	0,94	15,81	15,85	0,85	15,50	15,53	0,69
140,26	14,63	16,55	16,62	1,15	16,39	16,45	1,09	16,12	16,17	1,01	15,79	15,83	0,86	15,49	15,51	0,70
159,96	14,62	16,33	16,56	2,09	16,19	16,39	1,99	15,94	16,11	1,86	15,65	15,78	1,62	15,38	15,47	1,31
180,84	14,61	15,85	16,34	3,09	15,68	16,17	3,10	15,47	15,90	2,92	15,27	15,59	2,54	15,11	15,31	1,99
200,54	14,60	15,18	15,43	2,21	15,12	15,34	2,11	15,03	15,22	1,95	14,93	15,08	1,72	14,84	14,95	1,48

LEGENDA

Q = portata
 Z_f = quota di fondo
 Z_w = quota pelo libero
 Z_t = quota di carico totale
 v = velocità

TAB. 2.8 – CONDIZIONI DI DEFLUSSO SULLA SOGLIA DI USCITA DEL DISSIPATORE

Q (m ³ /s)	Configurazione ante operam		Configurazione post operam	
	Z _{wv} (m s.m.)	Z _{tv} (m s.m.)	Z _{wv} (m s.m.)	Z _{tv} (m s.m.)
22,73 (1)	16,99	17,02		
22,80 (1)			16,68	16,74
20	16,89	16,92	16,56	16,61
15	16,69	16,72	16,28	16,33
10	16,43	16,45	15,94	15,97
8	16,30	16,32	15,77	15,80
7	16,24	16,25	15,69	15,72
6	16,16	16,17	15,61	15,63

LEGENDA

Q = portata

Z_{wv} = quota del pelo libero a valle del dissipatoreZ_{tv} = quota di carico totale a valle del dissipatore

 (1) con invaso alla quota di massima regolazione (43,50 m s.m.)

TAB. 2.9 – CONFIGURAZIONE ANTE OPERAM – SVUOTAMENTO DELL'INVASO

z (m s.m.)	V (Mm ³)	V/V _{max} (-)	Q _f (m ³ /s)	Q _p (m ³ /s)	Q _t (m ³ /s)	ΔT (h)	T (h)
43,5	50,00	100,0%	22,73	10,84	33,57		0,0
43,0	47,12	94,2%	22,52	10,68	33,20	23,96	24,0
42,5	44,36	88,7%	22,31	10,53	32,83	23,22	47,2
42,0	41,72	83,4%	22,09	10,37	32,46	22,46	69,6
41,5	39,20	78,4%	21,88	10,20	32,08	21,69	91,3
41,0	36,80	73,6%	21,66	10,04	31,69	20,91	112,2
40,5	34,46	68,9%	21,44	9,87	31,30	20,64	132,9
40,0	32,20	64,4%	21,21	9,70	30,91	20,18	153,1
39,5	30,00	60,0%	20,99	9,52	30,51	19,90	173,0
39,0	27,86	55,7%	20,76	9,34	30,10	19,62	192,6
38,5	25,84	51,7%	20,53	9,16	29,69	18,77	211,4
38,0	23,96	47,9%	20,29	8,98	29,27	17,72	229,1
37,5	22,20	44,4%	20,05	8,79	28,84	16,83	245,9
37,0	20,54	41,1%	19,81	8,59	28,41	16,11	262,0
36,5	18,95	37,9%	19,57	8,40	27,96	15,67	277,7
36,0	17,42	34,8%	19,32	8,19	27,51	15,32	293,0
35,5	15,97	31,9%	19,06	7,99	27,05	14,76	307,8
35,0	14,60	29,2%	18,81	7,77	26,58	14,19	322,0
34,5	13,30	26,6%	18,54	7,55	26,10	13,71	335,7
34,0	12,04	24,1%	18,28	7,33	25,61	13,54	349,2
33,5	10,82	21,6%	18,01	7,10	25,11	13,36	362,6
33,0	9,64	19,3%	17,73	6,86	24,59	13,19	375,8
32,5	8,50	17,0%	17,45	6,61	24,06	13,02	388,8
32,0	7,44	14,9%	17,17	6,35	23,51	12,38	401,2
31,5	6,50	13,0%	16,88	6,08	22,95	11,24	412,4
31,0	5,66	11,3%	16,58	5,79	22,38	10,30	422,7
30,5	4,93	9,9%	16,28	5,50	21,78	9,19	431,9
30,0	4,30	8,6%	15,97	5,18	21,15	8,15	440,0
29,5	3,74	7,5%	15,66	4,85	20,51	7,47	447,5
29,0	3,23	6,5%	15,34	4,49	19,83	7,02	454,5
28,5	2,77	5,5%	15,01	4,10	19,11	6,56	461,1
28,0	2,36	4,7%	14,68	3,66	18,35	6,08	467,2
27,5	2,00	4,0%	14,34	3,17	17,52	5,58	472,7
27,0	1,67	3,3%	14,00	2,59	16,59	5,46	478,2
26,5	1,37	2,7%	13,65	1,83	15,48	5,20	483,4
26,0	1,09	2,2%	13,29	0,00	13,29	5,31	488,7
25,5	0,84	1,7%	12,92		12,92	5,30	494,0
25,0	0,66	1,3%	12,55		12,55	3,93	497,9
24,5	0,62	1,2%	12,17		12,17	0,87	498,8
24,0	0,55	1,1%	11,78		11,78	1,70	500,5
23,5	0,45	0,9%	11,38		11,38	2,32	502,8
23,0	0,35	0,7%	10,97		10,97	2,64	505,5
22,5	0,24	0,5%	10,56		10,56	2,62	508,1
22,0	0,16	0,3%	10,14		10,14	2,31	510,4
21,5	0,09	0,2%	9,71		9,71	1,82	512,2
21,0	0,05	0,1%	9,27		9,27	1,28	513,5
20,5	0,02	0,0%	8,82		8,82	0,80	514,3
20,0	0,01	0,0%	8,37		8,37	0,44	514,7
19,5	0,00	0,0%	7,90		7,90	0,21	514,9
19,0	0,00	0,0%	7,43		7,43	0,09	515,0
18,5	0,00	0,0%	6,94		6,94	0,03	515,0
18,0	0,00	0,0%	6,45		6,45	0,01	515,0
16,5	0,00		0,00				

LEGENDA

z = quota d'invaso

V = volume d'invaso

V_{max} = volume alla quota di massima regolazioneQ_f = portata dello scarico di fondoQ_p = portata della presaQ_t = portata totale

ΔT = intervallo di tempo

T = tempo cumulato dall'inizio dello svuotamento

TAB. 2.10 – CONFIGURAZIONE POST OPERAM – SVUOTAMENTO DELL'INVASO

z (m s.m.)	V (Mm ³)	V/V _{max} (-)	Q _f (m ³ /s)	Q _p (m ³ /s)	Q _t (m ³ /s)	ΔT (h)	T (h)
43,50	50,00	1,00	22,80	10,84	33,64		0,0
43,00	47,12	0,94	22,58	10,68	33,27	23,91	23,9
42,50	44,36	0,89	22,34	10,53	32,87	23,19	47,1
42,00	41,72	0,83	22,11	10,37	32,47	22,45	69,5
41,50	39,20	0,78	21,87	10,20	32,08	21,69	91,2
41,00	36,80	0,74	21,64	10,04	31,68	20,91	112,1
40,50	34,46	0,69	21,41	9,87	31,28	20,65	132,8
40,00	32,20	0,64	21,19	9,70	30,88	20,20	153,0
39,50	30,00	0,60	20,96	9,52	30,48	19,92	172,9
39,00	27,86	0,56	20,74	9,34	30,08	19,63	192,5
38,50	25,84	0,52	20,51	9,16	29,67	18,78	211,3
38,00	23,96	0,48	20,29	8,98	29,26	17,72	229,0
37,50	22,20	0,44	20,06	8,79	28,85	16,83	245,9
37,00	20,54	0,41	19,84	8,59	28,43	16,10	262,0
36,50	18,95	0,38	19,61	8,40	28,01	15,65	277,6
36,00	17,42	0,35	19,38	8,19	27,57	15,29	292,9
35,50	15,97	0,32	19,15	7,99	27,14	14,72	307,6
35,00	14,60	0,29	18,92	7,77	26,69	14,14	321,8
34,50	13,30	0,27	18,68	7,55	26,24	13,65	335,4
34,00	12,04	0,24	18,44	7,33	25,77	13,46	348,9
33,50	10,82	0,22	18,20	7,10	25,30	13,27	362,2
33,00	9,64	0,19	17,95	6,86	24,81	13,08	375,2
32,50	8,50	0,17	17,70	6,61	24,31	12,89	388,1
32,00	7,44	0,15	17,45	6,35	23,79	12,24	400,4
31,50	6,50	0,13	17,19	6,08	23,26	11,10	411,5
31,00	5,66	0,11	16,92	5,79	22,71	10,15	421,6
30,50	4,93	0,10	16,65	5,50	22,14	9,04	430,7
30,00	4,30	0,09	16,37	5,18	21,55	8,01	438,7
29,50	3,74	0,07	16,08	4,85	20,93	7,32	446,0
29,00	3,23	0,06	15,79	4,49	20,28	6,88	452,9
28,50	2,77	0,06	15,49	4,10	19,59	6,41	459,3
28,00	2,36	0,05	15,18	3,66	18,85	5,93	465,2
27,50	2,00	0,04	14,87	3,17	18,04	5,42	470,6
27,00	1,67	0,03	14,54	2,59	17,13	5,29	475,9
26,50	1,37	0,03	14,21	1,83	16,04	5,02	480,9
26,00	1,09	0,02	13,86	0,00	13,86	5,11	486,1
25,50	0,84	0,02	13,51		13,51	5,08	491,1
25,00	0,66	0,01	13,14		13,14	3,75	494,9
24,50	0,62	0,01	12,77		12,77	0,83	495,7
24,00	0,55	0,01	12,38		12,38	1,61	497,3
23,50	0,45	0,01	11,98		11,98	2,21	499,5
23,00	0,35	0,01	11,57		11,57	2,51	502,0
22,50	0,24	0,00	11,15		11,15	2,48	504,5
22,00	0,16	0,00	10,71		10,71	2,19	506,7
21,50	0,09	0,00	10,26		10,26	1,72	508,4
21,00	0,05	0,00	9,80		9,80	1,21	509,6
20,50	0,02	0,00	9,32		9,32	0,76	510,4
20,00	0,01	0,00	8,83		8,83	0,42	510,8
19,50	0,00	0,00	8,33		8,33	0,20	511,0
19,00	0,00	0,00	7,81		7,81	0,08	511,1
18,50	0,00	0,00	7,27		7,27	0,03	511,1
18,00	0,00	0,00	6,72		6,72	0,01	511,1
16,50			0,00				

LEGENDA

z = quota d'invaso

V = volume d'invaso

V_{max} = volume alla quota di massima regolazioneQ_f = portata dello scarico di fondoQ_p = portata della presaQ_t = portata totale

ΔT = intervallo di tempo

T = tempo cumulato dall'inizio dello svuotamento

TAB. 2.11 – SCARICO DI FONDO – SCALE DI DEFLUSSO

Apertura saracinesca (%)	100	75	50	25
z (m s.m.)	Q (m³/s)			
46,50	23,93	22,47	12,09	2,00
43,50	22,31	20,73	11,32	2,03
42,50	21,83	20,22	11,08	2,03
41,50	21,37	19,74	10,86	2,02
40,50	20,93	19,29	10,64	2,02
39,50	20,50	18,86	10,43	2,00
38,50	20,07	18,44	10,22	1,99
37,50	19,66	18,04	10,02	1,97
36,50	19,24	17,64	9,81	1,94
35,50	18,82	17,24	9,60	1,91
34,50	18,39	16,85	9,39	1,88
33,50	17,95	16,44	9,17	1,84
32,50	17,49	16,03	8,94	1,80
31,50	17,02	15,60	8,70	1,76
30,50	16,52	15,15	8,45	1,71
29,50	15,98	14,68	8,18	1,65
28,50	15,42	14,18	7,90	1,59
27,50	14,82	13,64	7,60	1,53
26,50	14,18	13,07	7,27	1,46
25,50	13,49	12,45	6,93	1,39
24,50	12,75	11,79	6,56	1,31
23,50	11,96	11,08	6,16	1,22
22,50	11,11	10,31	5,74	1,14
21,50	10,20	9,48	5,28	1,04
20,50	9,23	8,58	4,79	0,95
19,50	8,18	7,62	4,27	0,85
18,10	6,58	6,15	3,47	0,69

LEGENDA

z = quota d'invaso

Q = portata dello scarico di fondo

TAB. 2.12 – SCARICO DI FONDO – SCALE DI DEFLUSSO – COEFFICIENTI CURVE INTERPOLATRICI $Q = a + bz + cz^2 + dz^3$

Apertura saracinesca (%)	100	75	50	25
a	-32,343	-31,416	-15,755	-2,196
b	3,3359	3,289	1,6397	0,2101
c	-0,07808	-0,08059	-0,03796	-2,92 x10 ⁻³
d	6,96x10 ⁻⁴	7,48x10 ⁻⁴	3,35x10 ⁻⁴	7,4x10 ⁻⁶

LEGENDA

z = quota d'invaso (m s.m.)

Q = portata dello scarico di fondo (m³/s)

ALL. A – ESTRATTO DA “DESIGN OF SMALL DAMS” – USBR (rif. 1.2.3.1)

458

DESIGN OF SMALL DAMS

Where maximum loss values are desired, assume that 50 percent of the rack area is clogged. This will result in twice the velocity through the trash-rack. For minimum trashrack losses, assume no clogging of the openings when computing the loss coefficient, or neglect the loss entirely.

(d) *Entrance Losses*.—The loss of head at the entrance of a conduit is comparable with the loss in a short tube or in a sluice. If H is the head producing the discharge, C is the discharge coefficient, and a is the area, the discharge, Q , is equal to $Ca\sqrt{2gH}$, and the velocity, v , is equal to $C\sqrt{2gH}$, or

$$H = \frac{1}{C^2} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (12)$$

Since $H = h_v + h_e$ (the velocity head plus the head lost at the entrance), equation (12) may be written:

$$\frac{v^2}{2g} + h_e = \frac{1}{C^2} \left(\frac{v^2}{2g} \right), \text{ or } h_e = \left(\frac{1}{C^2} - 1 \right) \frac{v^2}{2g}$$

then:

$$K_e = \left(\frac{1}{C^2} - 1 \right) \quad (13)$$

Discharge coefficients for square sluice entrances are shown on figure 10-10. Discharge coefficients and loss coefficients for typical entrances for conduits, as given in various texts and technical papers, are listed in table 10-1.

(e) *Bend Losses*.—Bend losses in closed conduits (not including the friction loss in the bend) are a function of the bend radius, pipe diameter, and the angle through which the bend turns. Because experimental data on bend losses in large pipes are meager, such losses can be related to those determined for smaller pipe. Figure 10-12 (A) shows the coefficients found by various investigators for 90° bends for various ratios of bend radius to pipe diameter and an adjusted curve assumed to be suitable for large pipes.

Figure 10-12 (B) shows the correction factors to be applied to the values indicated on figure 10-12 (A) for other than 90° bends. The value of the loss coefficient, K_b , for various values of R_b/D can be applied directly for circular conduits; for rectan-

Table 10.1.—Discharge and loss coefficients for conduit entrances.

	Discharge coefficient, C			Loss coefficient, A		
	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.
(a) Gate in thin wall – unsuppressed contraction	0.70	0.60	0.63	1.80	1.00	1.50
(b) Gate in thin wall – bottom and sides suppressed	.81	.68	.70	1.20	0.50	1.00
(c) Gate in thin wall –	.95	.71	.82	1.00	.10	0.50
(d) Square-cornered entrances	.85	.77	.82	0.70	.40	.50
(e) Slightly rounded entrances	.92	.79	.90	.60	.18	.23
(f) Fully rounded entrances ($r/D \geq 0.15$)	.96	.88	.95	.27	.08	.10
(g) Circular bellmouth entrances	.98	.95	.98	.10	.04	.05
(h) Square bellmouth entrances	.97	.91	.93	.20	.07	.16
(i) Inward projecting entrances	.80	.72	.75	.93	.56	.80

gular conduits, D is taken as the height of the section in the plane of the bend.

(f) *Transition Losses*.—Head losses in gradual contractions or gradual expansions in a conduit should be considered in relation to the increase or decrease in velocity head. These head losses vary according to the rate of change of the area and the length of the transition. For contractions, the loss of head, h_c , is approximately $K_c [(v_2^2/2g) - (v_1^2/2g)]$, where K_c varies from 0.1 for gradual contractions to 0.5 for abrupt contractions. Where the flare angle does not exceed that indicated in section 10.16 (b), the loss coefficient can be assumed as 0.1. For greater flare angles, the loss coefficient can be assumed to vary in a straight-line relationship to a maximum of 0.5 for a right-angle contraction.

For expansions, the loss of head, h_{ex} , is approximately equal to $K_{ex} [(v_1^2/2g) - (v_2^2/2g)]$, where the expansion loss coefficient, K_{ex} , is as follows:

Flare angle α	2°	5°	10°	12°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°
K_{ex} [1]	0.03	0.04	0.08	0.10	0.16	0.31	0.40	0.49	0.60	0.67	0.72
K_{ex} [4]	.02	.12	.16	—	.27	.40	.55	.66	.90	1.00	—

ALL. B - ESTRATTO DA "MANUEL D'HYDRAULIQUE GÉNÉRALE" - LENCASTRE (rif. 1.2.3.2)

294

77 - Coudes à angle vif. Valeurs du K de la formule

$$\Delta H = K \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

K_1 - Coefficient pour les tuyaux lisses.
 $Re = 2,25 \times 10^5$

K_r - Coefficient pour les tuyaux rugueux (rugosité relative égale à 0,0022).

	α	5°	10°	15°	22,5°	30°	45°	60°	90°	
	K_l	0,016	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129	
	K_r	0,024	0,044	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265	

	a/D (1)	0,71	0,943	1,174	1,42	1,86	2,56	3,14	4,89	(2)
	K_l	0,507	0,350	0,333	0,261	0,289	0,356	0,346	0,389	0,392
	K_r	0,510	0,415	0,384	0,377	0,390	0,429	0,426	0,455	0,444

	a/D	1,186	1,40	1,63	1,86	2,33	2,91	3,49	4,65	6,05
	K_l	0,120	0,125	0,124	0,117	0,096	0,108	0,120	0,118	0,142
	K_r	0,294	0,252	0,266	0,272	0,317	0,317	0,333	0,310	0,313

	a/D	1,23	1,44	1,67	1,91	2,37	2,96	4,11	4,70	6,10
	K_l	0,195	0,196	0,150	0,154	0,167	0,172	0,190	0,192	0,201
	K_r	0,347	0,320	0,300	0,312	0,337	0,342	0,354	0,360	0,360

	a/D	K_l	K_r		α	a/D	K_l	K_r
1,23	0,157	0,300		22,5°	1,17	0,112	0,284	
1,67	0,156	0,378		30°	1,23	0,150	0,268	
2,37	0,143	0,264		30°	2,37	0,143	0,227	
3,77	0,160	0,242						

$K_l = 0,108$	$K_l = 0,188$	$K_l = 0,202$	$K_l = 0,400$	$K_l = 0,400$
$K_r = 0,236$	$K_r = 0,320$	$K_r = 0,323$	$K_r = 0,534$	$K_r = 0,601$

(1) D'après les expériences de Werner Schubert. Citées par [17].

(2) Pour des valeurs plus élevées de a/D , K_1 et K_r varient très peu. Pour $a/D = 6,28$, $K_1 = 0,399$ et $K_r = 0,444$.

ALL. C – ESTRATTO DA “HYDRAULIC DESIGN CRITERIA” – USACE (rif. 1.2.3.12)

